



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**  
①0 **DE 197 04 640 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 02 B 9/04**  
F 02 M 31/18  
F 02 F 3/28

②1 Aktenzeichen: 197 04 640.1  
②2 Anmeldetag: 7. 2. 97  
④3 Offenlegungstag: 13. 8. 98

DE 197 04 640 A 1

⑦1 Anmelder:  
Audi AG, 85057 Ingolstadt, DE

⑦2 Erfinder:  
Huber, Karl, Dr.-Ing., 85072 Eichstätt, DE;  
Hauenstein, Norbert, 85084 Reichertshofen, DE;  
Heck, Klaus, Dr.-Ing., 85049 Ingolstadt, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

DE-PS	8 53 671
DE-PS	1 71 670
DE-AS	10 20 484
DE	42 39 370 A1
DE	35 16 951 A1
DE-OS	23 53 981
DE-GM	18 16 155
US-PS	35 83 373
US	55 53 588
US	52 15 053
US	50 97 803
US	45 22 173

JP 60-187714 A. In: Patent Abstracts of Japan,  
M-452, Feb. 8, 1986, Vol. 10, No. 33;

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren zum Betreiben einer flammgezündeten Brennkraftmaschine

⑤7 Bei einem Verfahren zum Betreiben einer flammgezündeten Brennkraftmaschine, mit einer eine Hauptkraftstoffmenge zur Verfügung stellenden Einspritzdüse und einer weiteren entflammaren Zündkraftstoff geringerer Menge in den Brennraum einbringenden Düse, wird zur Verbesserung des Wirkungsgrades und des Verbrennungsprozesses vorgeschlagen, daß der Hauptkraftstoff ebenfalls direkt in den Brennraum eingespritzt wird und daß der Zündkraftstoff in der zumindest einen weiteren Düse stark erhitzt und unter Überdruck in Dampfform und ein definiertes Zündfeld bildend eingeblasen wird. Bevorzugt sind mehrere Düsen mit mehreren benachbarten Zündfeldern vorgesehen.

DE 197 04 640 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer flammgezündeten Brennkraftmaschine, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

Ein derartiges Verfahren ist beispielsweise der DE 23 53 981 A1 entnehmbar. Dabei wird ein im Brennraum komprimiertes, relativ mageres Kraftstoff-Luftgemisch durch Einspritzen einer geringen Zündkraftstoffmenge hoher Cetanzahl flammgezündet. Der Vorteil eines derartigen Verfahrens liegt darin, daß magere Kraftstoff-Luftgemische mit Lambda bis zu 1,7 sicher gezündet und gefahren werden können, wobei die Brennkraftmaschine ggf. ungedrosselt nur qualitätsgeregelt betrieben werden kann. Um jedoch diese für eine reine Flammzündung (Kompressionszündung) erforderliche hohe Verdichtung reduzieren zu können, wird weiter vorgeschlagen, die Zündkraftstoffmenge dennoch elektrisch mittels einer Zündkerze zu zünden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein verbessertes Verfahren vorzuschlagen, mit dem eine sichere Funktionsweise bei erhöhtem Wirkungsgrad der Brennkraftmaschine erzielbar ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den weiteren Patentansprüchen entnehmbar.

Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, den Hauptkraftstoff ebenfalls direkt in den Brennraum einzuspritzen, um zunächst eine definierte Ladungsschichtung zu erreichen. Die Einspritzung erfolgt bevorzugt gleichzeitig mit dem Zündkraftstoff.

Ferner wird der Zündkraftstoff stark erhitzt und in dampfförmigen Zustand eingeblasen. Die dazu verwendete Düse weist Düsenöffnungen auf, die ein definiertes Flammfeld bzw. Zündfeld ergeben, daß sich bevorzugt mit dem Einspritzstrahl des Hauptkraftstoffes kreuzt. Damit wird eine sichere, stabile und vollständige Verbrennung des Hauptkraftstoffes selbst bei extrem mageren Kraftstoff-Luftgemischen erreicht. Zudem kann die Brennkraftmaschine in hinsichtlich des Wirkungsgrades günstiger Weise überwiegend qualitätsgesteuert betrieben werden, d. h. mit geringen Drosselverlusten insbesondere im Teillastbereich.

Der Zündkraftstoff, z. B. niederoktaniges Benzin, der ein- oder mehrstufig stark erhitzt und mit Überdruck in den Brennraum geblasen wird, entzündet sich in Reaktion mit dem Sauerstoff der Verbrennungsluft nahezu verzögerungsfrei und entzündet seinerseits den eingespritzten Hauptkraftstoff, der z. B. mit einem Druck von 300 bar fein zerstäubt über die Einspritzdüse eingespritzt wird. Ggf. kann dabei zweistufig eine Voreinspritzung und eine Haupteinspritzung erfolgen.

Dabei ist es vorteilhaft, wenn im Brennraum der Verbrennungsluft eine Drallströmung aufgeprägt wird, die in Verbindung mit der Energie der Flammzündung ein gleichmäßiges Durchbrennen des Hauptkraftstoffes sicherstellt.

Bevorzugt können mehrere weitere Düsen zur Bildung mehrerer benachbarter Zündfelder im Brennraum vorgesehen sein, so daß der eingespritzte Hauptkraftstoff ggf. durch mehrere Flammzündungen gleichzeitig entzündet wird. Vorteilhaft ist dabei auch, daß die Einzelmengen des Zündkraftstoffes verringert sind, wodurch eine schnelle Aufheizung des Zündkraftstoffes – bevorzugt durch Glühstifte – in den einzelnen Düsen erfolgen kann. Die alternative Ansteuerung einer oder mehrerer Düsen in einem definierten Einspritzmodus kann dabei dem Leerlauf, der Teillast oder Vollast der Brennkraftmaschine angepaßt sein. Ggf. kann auch der Leerlauf der Brennkraftmaschine und der untere Teillastbereich nur mit dem Zündkraftstoff betrieben werden und die

Einspritzdüse für den Hauptkraftstoff später zugeschaltet werden. Die Lastregelung als solches erfolgt zumindest im höheren Lastbereich über den Hauptkraftstoff, der über die Einspritzdüse abhängig von den bekannten Parametern zur Kraftstoffzumessung zugemessen wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist im folgenden mit weiteren Einzelheiten näher erläutert. Die schematische Zeichnung zeigt in

Fig. 1 einen teilweisen Querschnitt entlang einer Zylinderachse einer Hubkolben-Brennkraftmaschine mit einem Brennraum, der mit Hauptkraftstoff und Zündkraftstoff versorgt wird;

Fig. 2 eine Draufsicht auf den Brennraum gemäß Pfeil X in Fig. 1; und

Fig. 3 als Blockschaltbild die Steuerung bzw. Regelung des Verfahrens abhängig von Verbrennungs- und Maschinenparametern.

Die Fig. 1 zeigt abschnittsweise den Brennraum 10 einer Viertakt-Hubkolben-Brennkraftmaschine nach dem Otto-Prinzip, wobei der kreisscheibenförmige Brennraum 10 von einem Zylinderkopf 12, einem Zylinder 14 eines Zylinderkurbelgehäuses 16 und einem im Zylinder 14 in bekannter Weise verschiebbaren Kolben 18 begrenzt ist. Über dem Brennraum 10 zugeordnete Gaswechselventile 20, 22 (vgl. Fig. 2) wird Verbrennungsluft zugeführt bzw. Abgas abgeführt.

Zur Herstellung einer gezielten Drallströmung und günstigen Brennraumgeometrie weist die dem Brennraum 10 zugewandte Kolbenoberfläche eine asymmetrische Mulde 24 auf, die über eine keilförmige, schräge Fläche 26 in eine ringförmige Quetschfläche 28 übersteht. Die gegenüberliegende Zylinderkopffläche 30 ist hingegen relativ plan ausgeführt.

Durch die beschriebene Kolbenkonfiguration wird in der Aufwärtsbewegung (Verdichten) des Kolben 18 der Verbrennungsluft gezielt eine Drallströmung und Verwirbelung aufgeprägt. Die Brennraumgeometrie ist so ausgelegt, daß eine geometrische Verdichtung von 15 vorliegt. Eine Drallströmung könnte ggf. auch oder zusätzlich insbesondere bei Mehrventilmotoren durch spiralförmige Gestaltung eines oder mehrerer Einlaßkanäle im Zylinderkopf 12 verwirklicht sein.

Im Zylinderkopf 10 sind der Kolbenmulde 24 gegenüberliegend eine Einspritzdüse 32 zum Einspritzen einer Hauptkraftstoffmenge und drei weitere Düsen 34, 36, 38 zum Einbringen einer geringen Zündkraftstoffmenge angeordnet, deren Einspritzöffnungen (nicht bezeichnet) derart in den Brennraum 10 ausgerichtet sind, daß hinsichtlich der Düsen 34, 36, 38 drei Zündfelder 40, 42, 44 gebildet sind, während die Einspritzstrahlen 46 der Einspritzdüse 32 in nahezu rechtwinkliger Abstrahlung zur Längsachse der Einspritzdüse 32 in Längserstreckung (bzw. diametral) des Brennraumes 10 ausgerichtet sind. Dabei kreuzen die Einspritzstrahlen 46 die Zündfelder 40, 42, 44 der Düsen 34, 36, 38.

Während die Einspritzdüse 32, abgesehen von ihrer Abspritzrichtung, herkömmlicher Bauart sein kann und auch den Hauptkraftstoff, z. B. Benzin, mit ROZ 90, mit 300 bar Einspritzdruck über eine herkömmliche, für Benzin-Direkteinspritzung geeignete Einspritzanlage einspritzt, sind die Düsen 34, 36, 38 jeweils mit einem elektrisch angeschlossenen Heizzift oder mit einer mehrstufigen, hintereinander geschalteten Beheizung versehen, mittels dem der Zündkraftstoff, z. B. Dieselöl oder bevorzugt niederoktaniger Ottokraftstoff oder Methanol, bei einem Druck von 30 bar stark erhitzt (> 200°C, insbesondere ca. 600°C) bzw. verdampft und aufgrund der temperaturbedingten Druckzunahme eingeblasen wird. Der eingeblasene Kraftstoffdampf entzündet sich im Brennraum 10, wobei die Flammenaus-

breitung entsprechend den eingezeichneten Zündfeldern 40, 42, 44 ist.

Gemäß Fig. 3 werden die Düsen 34, 36, 38 bzw. die Einspritzdüse 32 elektromagnetisch über entsprechende elektronische Verstärker 50, 52 betätigt, wobei bei den Düsen 34, 36, 38 zusätzlich die beschriebenen Glühstäbe mit Strom versorgt werden.

Die Verstärker 50, 52 wiederum werden über ein elektronisches Steuergerät 54 mit digitaler Datenverarbeitung aktiviert, das die Einspritzzeiten, - Intervalle, Düsenkombinationen, Impulslänge und Impulsanzahl der Flammzündung abhängig von den Parametern Drehzahl, Last, Lastanforderung der Brennkraftmaschine sowie Abgastemperatur, NOx-Wert, CH-Wert, Lambda-Wert, Luftmenge, -Temperatur, etc. berechnet und im closed-loop-Verfahren ständig optimiert. Die entsprechenden Sensoren können bekannter Bauart sein und sind deshalb nicht dargestellt.

Der Verfahrensablauf ist bevorzugt so, daß nach dem Ansaugen der Verbrennungsluft und deren Kompression, wobei durch das nach oben Drücken des Kolbens 18 die Verbrennungsluft eine Drall- und Quetschströmung annimmt, kurz vor OT des Kolbens 18 die Hauptkraftstoffmenge über das Einspritzventil 32 eingespritzt und gleichzeitig je nach Last der Brennkraftmaschine über ein, zwei oder alle drei Düsen 34, 36, 38 der unter einem Druck von 30 bar stehende auf 600°C erhitzte Zündkraftstoff eingeblasen wird.

Der Zündkraftstoff entzündet entsprechend den eingezeichneten Zündfeldern 40, 42, 44 und entzündet somit den sich in der Drallströmung verteilenden Hauptkraftstoff. Dabei entsteht eine von der Kolbenmulde 24 ausgehende Flammenfront, die sich bei definierter Geschwindigkeit und nicht zu steilem Druckanstieg ausbreitet und eine gleichmäßiges schadstoffarmes Durchbrennen des Kraftstoffes sicherstellt.

Das beschriebene Verfahren kann selbstverständlich auch auf Zweitakt-Otto-Brennkraftmaschinen angewendet werden. Ferner kann die Brennkraftmaschine mit Abgasrückführung und/oder Sekundärluftzuführung entsprechend dem Stand der Technik betrieben werden.

Zur Wirkungsgradsteigerung der Brennkraftmaschine kann ferner eine Aufladung, insbesondere unter Verwendung eines Abgasturboladers, vorgesehen sein.

Der Leerlaufbetrieb und untere Teillastbereich der Brennkraftmaschine kann ggf. alleine mit dem Zündkraftstoff betrieben werden. Ferner kann ggf. über eine zweistufige Einspritzdüse 32 eine Voreinspritzung gefahren werden, die zur Unterstützung einer definierten Ladungsschichtung oder einer verbesserten, inneren Gemischaufbereitung beiträgt.

Zur Verminderung der aufzubringenden elektrischen Energie kann gasförmiger Zündkraftstoff (z. B. Erdgas) verwendet werden, wobei ggf. (zur Vermeidung mehrerer Kraftstoffbehälter) auch der Hauptkraftstoff für die Einspritzdüse 32 gasförmig sein kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer flammgezündeten Brennkraftmaschine, mit einer eine Hauptkraftstoffmenge zur Verfügung stellenden Einspritzdüse und einer weiteren entflammbaren Zündkraftstoff geringerer Menge in den Brennraum einbringenden Düse, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Hauptkraftstoff ebenfalls direkt in den Brennraum (10) eingespritzt wird und daß der Zündkraftstoff in der zumindest einen weiteren Düse (34, 36, 38) stark erhitzt und unter Überdruck in Dampfform und ein definiertes Zündfeld (40, 42, 44) bildend eingeblasen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der weiteren Düse (34, 36, 38) ein elektrisch

betriebener Heizstift angeordnet ist, mittels dem der Zündkraftstoff verdampft wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Zündkraftstoff mit zumindest 30 bar Druck und > 200°C Temperatur, insbesondere bis zu 600°C Temperatur, erhitzt und dann eingeblasen wird.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhitzung des Zündkraftstoffes durch mehrere hintereinandergeschaltete Heizstufen erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die letzte Heizstufe auf der Brennraumsseite der Düse (34, 36, 38) liegt.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, insbesondere drei weitere Düsen (34, 36, 38) zur Bildung mehrerer benachbarter Zündfelder (40, 42, 44) im Brennraum (10) vorgesehen sind.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1-6, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl der Einspritzdüse (32) und zumindest ein Strahl der weiteren Düse (34, 36, 38) so ausgerichtet sind, daß sie im Brennraum (10) aufeinander treffen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahl (46) der Einspritzdüse (32) in Längserstreckung des Brennraumes (10) im Endverdichtungsstadium ausgerichtet ist.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Brennraum (10) eine Drallströmung der Verbrennungsluft initiiert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Drallströmung bei einer Hubkolben-Brennkraftmaschine durch eine Keil- und/oder Quetschfläche (26 bzw. 28) des Kolbens (18) bewirkt wird.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zündfelder (40, 42, 44) und der Einspritzstrahl (46) in eine Brennraummulde (24) gerichtet sind.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennraummulde (24) im Kolben (18) einer Hubkolben-Brennkraftmaschine ausgebildet ist.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Einspritzdüse (32) und die weiteren Düsen (34, 36, 38) hinsichtlich Kraftstoffmenge, Einspritzzeit und Einspritzmodus durch digitale Datenverarbeitung mit einem einheitlichen elektronischen Steuergerät (54) gesteuert werden.

14. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei Leerlauf der Brennkraftmaschine und ggf. in der unteren Teillast nur Zündkraftstoff eingebracht wird.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Zündkraftstoff und/oder Hauptkraftstoff gasförmiger Kraftstoff verwendet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1

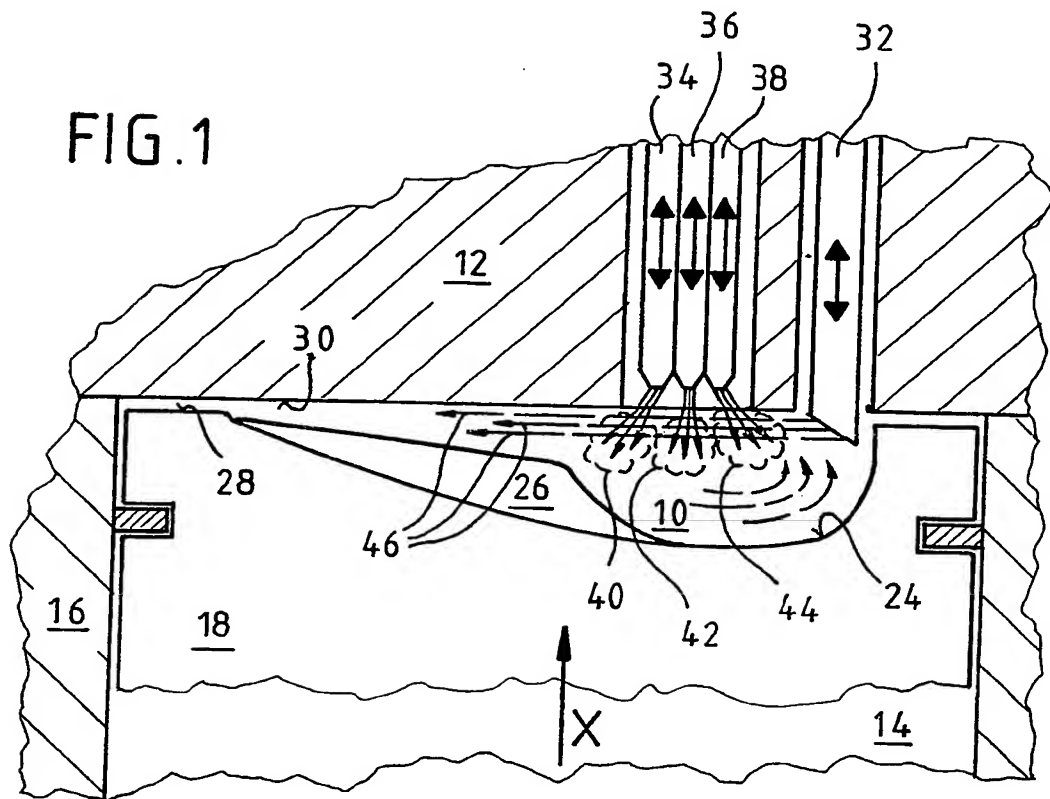
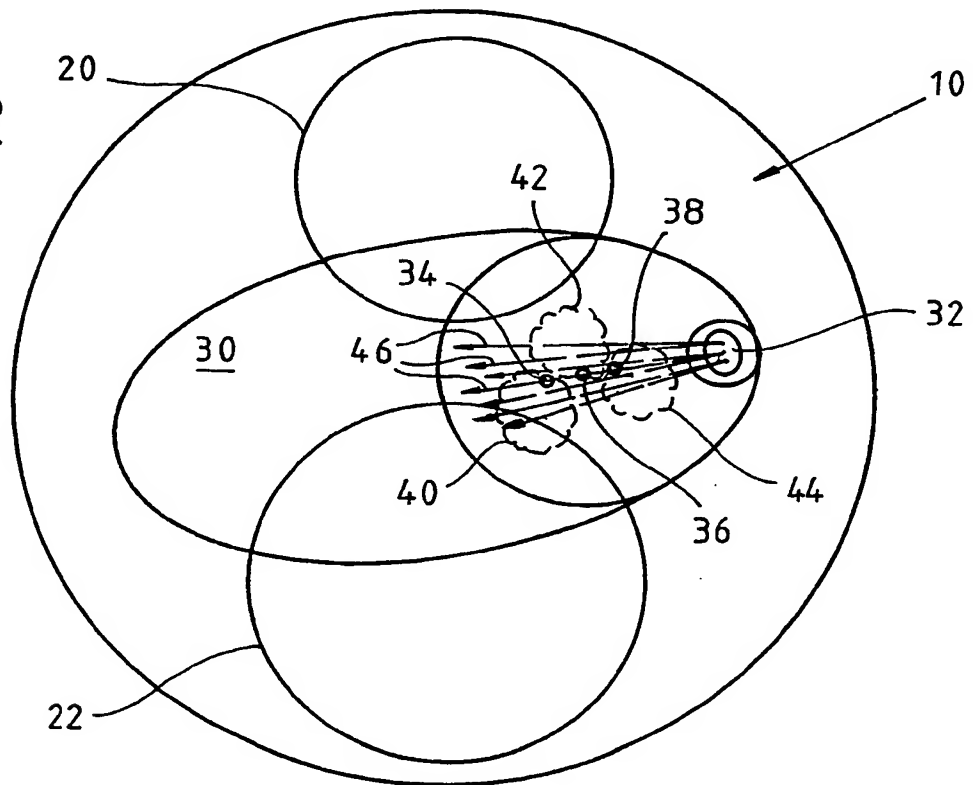


FIG. 2



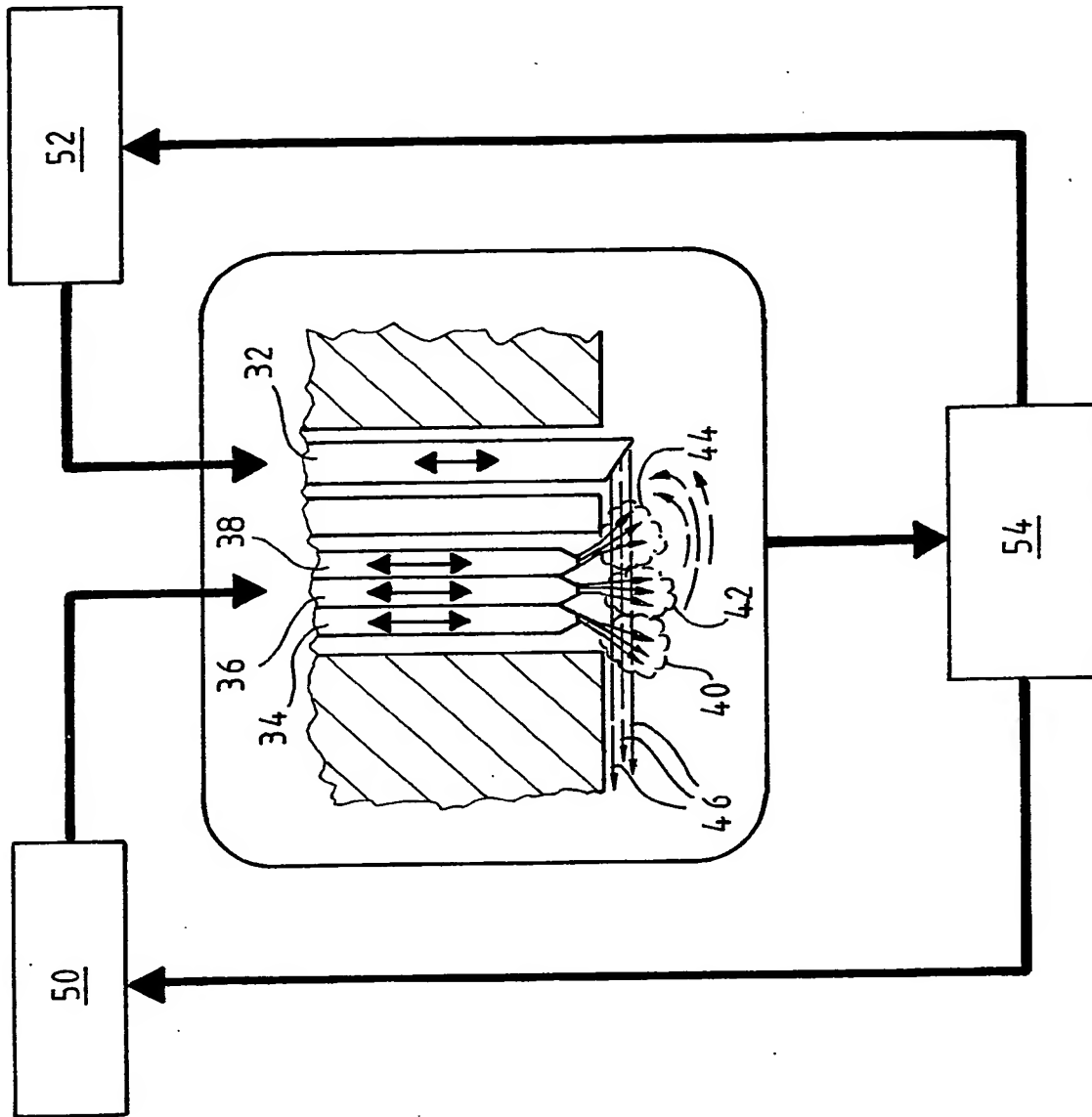


FIG. 3